

## Avis de l'IRSN concernant la sûreté des tubes des générateurs de vapeur de la centrale de Bugey 3

Lors du contrôle du faisceau tubulaire du Générateur de Vapeur (GV) de la boucle 1 de Bugey 3 réalisé au titre du Programme de Base de Maintenance Préventive (PBMP), une indication de fissuration circonferentielle a été détectée dans le tube L12C32 au droit de la plaque entretoise n°2. C'est la première fois qu'une indication d'orientation circonferentielle est observée au droit d'une plaque entretoise inférieure sur le parc EDF. Lors de la tentative d'extraction du tronçon de tube affecté par cette indication, le tube s'est rompu au droit de la plaque entretoise n°1. L'expertise du tronçon rompu a permis d'identifier une corrosion intergranulaire externe très importante au droit de la plaque entretoise. Cette corrosion se manifeste sous deux formes principales :

- L'*LIGA* (InterGranular Attack) correspondant à une décohésion généralisée des grains de l'alliage par dissolution des joints de grain,
- L'*LIGSCC* (InterGranular Stress Corrosion) correspondant à une corrosion sous contrainte se traduisant par une décohésion intergranulaire de parcours généralement rectiligne et perpendiculaire à la surface externe du tube.

Cette expertise a révélé un endommagement intergranulaire traversant ou quasi traversant sur un secteur de 110°. La section fissurée est évaluée à 35%. Cet endommagement n'avait pas été détecté par les moyens de contrôle mis en œuvre dans le cadre des visites périodiques. EDF a donc entrepris de caractériser au moyen d'un programme d'expertise l'endommagement des tubes des GV de Bugey 3. Ce programme d'expertise a permis de détecter plus d'une trentaine d'indications de fissuration d'orientation circonferentielle pour le GV de la boucle 1. Les gestes de maintenance nécessaires et l'élaboration d'un dossier justifiant de la sûreté de fonctionnement ont conduit au maintien de cette tranche à l'arrêt depuis avril 2009.

A l'issue des opérations de maintenance réalisées sur le faisceau tubulaire des GV de Bugey 3 depuis l'arrêt, EDF a demandé à l'ASN de l'autoriser à remettre le réacteur en exploitation jusqu'au remplacement des GV prévu en septembre 2010. L'ASN a saisi l'IRSN afin de connaître son avis sur l'aptitude du faisceau tubulaire des GV de Bugey 3 à fonctionner au prochain cycle compte tenu des opérations de maintenance réalisées.

La fissure découverte sur le tube L12C32 du GV de la boucle 1 de Bugey 3 aurait pu conduire à une rupture complète du tube de GV appelée RTGV. La perte de confinement du fluide primaire pourrait amener à rejeter des radioéléments dans l'environnement. Pour l'IRSN, l'importance de la fonction de confinement du faisceau tubulaire des GV aurait dû conduire EDF à programmer le remplacement de ces GV plus tôt de manière à ne pas exploiter durablement ces GV dont les tubes sont fortement affectés par la corrosion au droit des plaques entretoises. EDF aurait dû également s'interroger sur l'origine des fuites persistantes observées pour le GV de la boucle 1. EDF aurait dû réaliser plus tôt des actions complémentaires d'expertise afin de mieux connaître l'endommagement des tubes.

La découverte fortuite de cette dégradation importante remet en cause la doctrine de maintenance d'EDF, le programme de maintenance et les moyens de contrôle. Les tranches susceptibles d'être affectées par cette dégradation sont celles équipées de GV avec un faisceau tubulaire en alliage 600 MA sensible à la corrosion en milieu secondaire. Cela représente 7 tranches pour lesquelles la démonstration de sûreté est affaiblie en raison de l'inadéquation des moyens de contrôle du faisceau tubulaire des GV vis-à-vis du mécanisme avéré de dégradation par fissuration circonferentielle au droit des plaques entretoises. En effet, l'IRSN rappelle que le procédé SAX<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Inspection des tubes par une méthode de contrôle par courants de Foucault et au moyen d'une sonde axiale.

détecte de manière globale un endommagement par corrosion au droit des plaques entretoises, et que les performances de ce procédé sont très limitées pour caractériser cet endommagement et sa cinétique. C'est pourquoi la sonde tournante S10 est utilisée en complément. Un programme plus important de caractérisation de l'endommagement au droit des plaques entretoises avec le procédé S10<sup>2</sup> aurait pu alerter EDF sur l'ampleur de l'endommagement et la situation d'écart entre l'état d'endommagement avéré des tubes et la doctrine de maintenance.

A la suite de la détection de fissures d'orientation circonférentielle au droit des plaques entretoises du GV de la boucle 1, EDF a mis en œuvre un important programme de détection et de caractérisation de l'endommagement des tubes de GV pour lequel une technologie de contrôle basée sur l'utilisation d'une sonde multiéléments a été utilisée pour la première fois par EDF sur la quasi-totalité des zones sous plaque entretoise du GV de la boucle 1. Cette sonde a permis de détecter des indications circonférentielles qui ont été ensuite caractérisées avec une sonde STT/S10<sup>2</sup> développée spécifiquement pour le contrôle des zones sous plaque entretoise et également utilisée pour la première fois sur le parc. Ce contrôle a permis de caractériser une trentaine de fissures notables (profondeur supérieure à 40% et extension angulaire supérieure à 50°). La technologie de contrôle par courants de Foucault multiéléments est disponible industriellement depuis de nombreuses années et a permis de mieux caractériser de nouvelles dégradations notamment en Allemagne pour l'alliage 800. Pour l'IRSN, ce moyen, pour le contrôle de base du faisceau tubulaire, est complémentaire au procédé SAX et dispose de bien meilleures performances pour la détection des fissures d'orientation circonférentielle. L'IRSN observe que ce procédé multiéléments est bien adapté à la recherche de fissures d'orientation circonférentielle sur toute la longueur des tubes et aurait pu être utilisé par EDF sur son parc de manière anticipée et volontariste avec l'objectif de se doter des meilleurs moyens de contrôle de base pour évaluer l'état de cette barrière de confinement.

Afin d'évaluer la pertinence des résultats de contrôle par rapport à l'état d'endommagement des tubes au droit des plaques entretoises, plusieurs tronçons de tubes ont été extraits du GV de la boucle 1 et sept ont été expertisés. Ce programme de contrôle et d'expertise est conforme aux précédentes recommandations de l'IRSN et les résultats obtenus montrent que sa mise en œuvre était indispensable. **L'IRSN considère que les contrôles et les expertises complémentaires réalisés sur le faisceau tubulaire des GV de Bugey 3 permettent à EDF d'avoir une bonne connaissance du niveau d'endommagement des tubes et de l'adéquation des procédés de contrôle vis-à-vis de la recherche et de la caractérisation de l'endommagement observé à Bugey 3.**

EDF a ensuite procédé au bouchage des tubes dépassant les critères d'endommagements suivants :

- tubes comportant une indication de fissure d'orientation circonférentielle qui est notable au sens du procédé de contrôle STT, à savoir une profondeur supérieure à 40% et une extension angulaire supérieure à 50° ,
- tubes dont la section dégradée évaluée avec le procédé S10 est supérieure à 45% de la section nominale.

Pour EDF, les tubes laissés en service et comportant des indications inférieures aux critères mentionnés précédemment ne présentent pas de risque de RTGV pendant le prochain cycle de fonctionnement. L'analyse d'EDF prend en compte l'évaluation de la cinétique enveloppe de la corrosion et considère un chargement mécanique dimensionnant qui correspond à une dépressurisation rapide du secondaire induite par la Rupture d'une Tuyauterie de Vapeur (RTV). Dans son modèle mécanique, EDF ne prend pas en compte de coefficients de sécurité. **L'IRSN rappelle que l'utilisation de coefficients de sécurité est nécessaire et est exigée par la réglementation et conteste la démarche d'EDF à ce sujet.**

---

<sup>2</sup> Inspection des tubes par une méthode de contrôle par courants de Foucault et au moyen d'une sonde tournante.

L'IRSN note cependant que les critères d'obturation des tubes utilisés finalement par EDF sont quasiment conformes à sa doctrine de maintenance, à la propre analyse de l'IRSN comprenant les coefficients de sécurité et prenant en compte les différentes situations de fonctionnement ainsi qu'aux recommandations précédentes de l'IRSN. **L'analyse des actions de maintenance réalisées sur le faisceau tubulaire des GV de Bugey 3 lors de l'arrêt 2009-2010 et notamment le bouchage de tubes défectueux conduit l'IRSN à conclure que la position d'EDF concernant l'absence de risque significatif de RTGV pour le prochain cycle de fonctionnement jusqu'au RGV prévu en septembre 2010 est acceptable.**

L'IRSN considère néanmoins que le niveau d'endommagement très élevé de nombreux tubes du GV de la boucle 1 de Bugey 3 pourrait conduire à observer lors du prochain cycle de fonctionnement une fuite notable du circuit primaire vers le circuit secondaire. En effet, le critère global de bouchage exprimé en termes de section dégradée de la paroi du tube inférieure ou égale à 45% sur 360° conduit à laisser en service des tubes avec des défauts volumiques pouvant atteindre une grande profondeur localement. Les éléments de compréhension sur l'origine et l'évolution de défauts de type plan avec une orientation circonférentielle (IGSCC) sont actuellement très limités de l'aveu même d'EDF. Il est par conséquent difficile de prédire le comportement de défauts profonds de type IGA et IGSCC d'orientation circonférentielle laissés en service, en termes d'étanchéité. C'est donc la première ligne de défense utilisée dans la démonstration de sûreté et relative à la garantie de confinement<sup>3</sup> qui est affaiblie. Pour l'IRSN, cette situation n'est pas acceptable. **En conséquence, dans l'objectif d'assurer, a priori, pendant tout le cycle de fonctionnement de Bugey 3 l'étanchéité des tubes de GV en cohérence avec l'exigence de confinement de la seconde barrière, l'IRSN recommande qu'EDF bouche tous les tubes affectés par un endommagement par IGA profonde ou par IGSCC d'orientation circonférentielle pouvant conduire à une perte notable de l'étanchéité du faisceau tubulaire. L'IRSN considère en effet que les critères retenus par EDF ne permettent pas de se prémunir du risque d'apparition d'une fuite notable en service.**

Pour mémoire, la règle de surveillance des fuites en service a été établie pour un endommagement de type fissuration d'orientation longitudinale en pied de tube dont le mécanisme et la cinétique sont jugés bien cernés. Appliquer cette règle telle quelle pour de l'IGA profonde et de l'IGSCC d'orientation circonférentielle mal connues conduit également à affaiblir la deuxième ligne de défense mise en place dans les années 1990. Néanmoins, moyennant la disponibilité des chaînes KRT VVP<sup>4</sup> et le repli de la tranche sans délai après confirmation d'une fuite, la Règle de Fonctionnement à Fuite Faible est acceptable pour l'IRSN en tant que deuxième ligne de défense.

L'IRSN observe enfin que la politique volontariste d'EDF de remise en service d'un GV fortement endommagé pour un cycle court est un défi technique très fort et comportant des risques significatifs en ce qui concerne la perte d'étanchéité du faisceau tubulaire et donc du confinement du fluide primaire. Pour l'IRSN, remettre en exploitation le réacteur de Bugey 3 avec un risque de fuite notable du circuit primaire vers les circuits secondaires revient à accepter de faire fonctionner une installation nucléaire avec une diminution des exigences de sûreté par rapport à ce qui est généralement accepté sur le parc.

L'ensemble des recommandations et des observations que formule l'IRSN à l'issue de son analyse du dossier présenté par l'exploitant est détaillé en annexe.

---

<sup>3</sup> Le faisceau tubulaire des GV constitue à la fois la deuxième et la troisième barrière de confinement.

<sup>4</sup> Chaînes de mesure de la radioactivité des circuits secondaires au niveau des lignes de vapeur sortant du bâtiment du réacteur.

## ANNEXE

## LISTE DES OBSERVATIONS ET DES RECOMMANDATIONS DE L'IRSN

**Recommandation n° 1 :**

L'IRSN recommande que la doctrine de maintenance et le PBMP soient révisés afin de prendre en compte la dégradation par corrosion intergranulaire profonde (IGA) et la fissuration circonférentielle (IGSCC) des tubes en alliage 600 MA au droit des plaques entretoises et qu'EDF propose des moyens de contrôle adaptés à la détection de ces endommagements sur l'ensemble des faisceaux tubulaires en alliage 600.

**Recommandation n° 2 :**

L'IRSN note que la doctrine de maintenance a été mise en défaut dans le cadre des anomalies découvertes à Bugey 3. L'IRSN recommande qu'EDF vérifie périodiquement les hypothèses de sa doctrine de maintenance pour le faisceau tubulaire des GV en procédant à des expertises complémentaires aux contrôles prévus par le PBMP. Ces expertises peuvent se composer d'examen non destructifs (sonde tournante courants de Foucault, sonde courants de Foucault multiéléments, contrôle ultrasonore, examen télévisuel ...) et d'expertise de tronçons de tube extraits.

**Recommandation n° 3 :**

L'IRSN recommande qu'EDF étudie l'opportunité d'ajouter une mesure en mode absolu au procédé STT afin d'améliorer la détection d'une corrosion d'orientation circonférentielle multi-amorcée et non coplanaire.

**Recommandation n° 4 :**

L'IRSN recommande que les procédures de déclassement des indications et notamment celle appliquée régulièrement au procédé STT en pied de tube en présence d'un réseau de fissures longitudinales soient intégrées dans le périmètre de qualification de ce procédé.

**Recommandation n° 5 :**

L'IRSN recommande qu'EDF complète son analyse des mécanismes d'endommagement de l'alliage 600 en milieu secondaire en vérifiant que les dégradations observées répondent toujours aux tendances données par le retour d'expérience. En particulier, les aspects relatifs aux caractéristiques mécaniques des tubes de GV (limite d'élasticité) et leurs conséquences vis-à-vis de la corrosion seront étudiés.

**Recommandation n° 6 :**

L'IRSN considère que la compréhension du phénomène d'apparition des fissures circonférentielles au niveau des plaques entretoises sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3 reste incomplète. L'IRSN recommande qu'EDF poursuive ses investigations afin d'en déterminer l'origine.

**Recommandation n° 7 :**

Afin d'intégrer l'ensemble du retour d'expérience des tranches étrangères et de synthétiser les résultats des essais de laboratoire récents, l'IRSN recommande qu'EDF révise son livre blanc relatif à "La corrosion côté secondaire des tubes de générateur de vapeur" qui date de 1996.

**Recommandation n° 8 :**

Dans l'objectif d'assurer, a priori, pendant tout le cycle de fonctionnement de Bugey 3 l'étanchéité des tubes de GV en cohérence avec l'exigence de confinement de la seconde barrière, l'IRSN recommande qu'EDF bouche tous les tubes affectés par un endommagement par IGA profonde ou par IGSCC d'orientation circonférentielle pouvant conduire à une perte notable de l'étanchéité du faisceau tubulaire.

**Recommandation n° 9:**

L'IRSN recommande qu'EDF maintienne la demande particulière DP203 renforçant le suivi des fuites du primaire vers le secondaire pour la tranche de Bugey 3 comme prévu dans l'indice 5 de la DP203 jusqu'au remplacement des générateurs de vapeur.

**Recommandation n° 10 :**

Pour le réacteur de Bugey 3, l'IRSN recommande qu'EDF procède à l'arrêt de celui-ci en cas d'indisponibilité d'une chaîne utilisée pour la détection précoce des fuites du circuit primaire vers les circuits secondaires (chaînes KRT VVP N16).

**Observation n° 1 :**

L'IRSN considère que la description proposée par EDF du mécanisme de formation de l'IGA profonde est plausible.

**Observation n° 2 :**

L'IRSN considère que l'explication de l'apparition de la fissuration circonférentielle basée sur les contraintes et le temps proposée par EDF est plausible mais reste non démontrée à ce jour.

**Observation n° 3 :**

L'IRSN remarque que la sollicitation provenant de la dilatation différentielle des tubes et des plaques, en raison de son ordre de grandeur, ne peut en aucun cas être relaxée par une éventuelle accommodation locale de déformation, ce qui exclut de considérer comme "secondaire" ce type de contrainte. L'IRSN ne peut exclure que le blocage des tubes dans la plaque, par la présence de dépôts dans l'interstice entre le tube et la plaque entretoise et sous l'action des dilatations différentielles, soit un élément favorisant la fissuration circonférentielle observée en service sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3.

**Observation n° 4 :**

L'IRSN considère que l'existence d'un aggravant de type polluant pour expliquer les dégradations observées sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3 est plausible. Ce polluant pourrait être du plomb.

**Observation n° 5 :**

L'IRSN note qu'EDF ne s'est pas engagée prioritairement dans une démarche visant à comprendre l'origine des dégradations importantes observées sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3. Les éléments dont dispose l'IRSN ne permettent pas de conclure quant à l'origine de la fissuration circonférentielle au niveau des plaques entretoises, sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3. Néanmoins, l'IRSN considère que le cas le plus pénalisant qui serait dû à du denting peut raisonnablement être exclu.

**Observation n° 6 :**

L'IRSN constate que si les tubes extraits continuent de présenter une résistance mécanique élevée tout au moins pour des sections dégradées allant jusqu'à 35%, ils présentent néanmoins des pressions de début de fuite nettement inférieures à la pression d'éclatement de tubes sains.

**Observation n° 7 :**

L'IRSN estime que les bouchages envisagés par EDF permettent de se prémunir d'une RTGV au prochain cycle de fonctionnement. Néanmoins, l'IRSN rappelle que l'utilisation de coefficients de sécurité est nécessaire et est exigée par la réglementation et conteste la démarche d'EDF à ce sujet.

**Observation n° 8 :**

Pour l'IRSN, le colmatage volontaire des microfissures par des actions pouvant favoriser la corrosion de la paroi du circuit primaire principal est une stratégie d'exploitation contraire à la culture de sûreté qui doit conduire à conserver les matériels dans le meilleur état possible et à minimiser le terme source. C'est également une pratique contraire à l'esprit de la R3F qui a pour objet la détection précoce d'une perte d'étanchéité. Pour l'IRSN, les seules actions adaptées à la perte d'étanchéité d'un tube sont le bouchage et le remplacement des GV pour un endommagement du faisceau tubulaire de grande ampleur tel que celui observé sur le GV de la boucle 1 de Bugey 3.